



Летопись одной проблемы

Одна из самых стабильных отраслей — отрасль связи, претерпевает сейчас существенные изменения. В частности, из-за широкого распространения систем SDH, использование которых требует принципиально нового подхода к построению сетей синхронизации

Период пересмотра Рекомендаций Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии ССИТТ (впоследствии Международного союза электросвязи — телекоммуникаций — ИТУ-Т), вызванного внедрением систем синхронной цифровой иерархии (SDH — Synchronous Digital Hierarchy)

пришелся на 1998—2002 годы. Первые статьи по синхронизации сетей появились в украинской отраслевой периодике в 1998 году в период становления первичной транспортной сети SDH Укртелекома, то есть через 10 лет после появления первых Рекомендаций G.810 — G.812 ССИТТ. В них рассматрива-

лись не только динамика международной нормативной базы по синхронизации сетей и опыт развитых стран, но и возможность применения отечественных технологий в устройствах синхронизации. Затем проблемы синхронизации широко обсуждались на международных научно-технических конференциях по транспортным сетям и сетям доступа в тесном взаимодействии с российскими специалистами. Их опыт до сих пор представляет большой интерес для украинских связистов. В конце 2001—начале 2002 годов было положено начало разработке отечественных нормативных документов по синхронизации сетей. Ретроспективный обзор техниче-

ких статей в украинской отраслевой периодике отражает непростой процесс освоения современных понятий, который, впрочем, происходил синхронно с таким же процессом и в других странах (см. вставку на с. 48–49).

Принцип синхронизации телефонной сети

На этапе интеграции цифровых систем коммутации и систем передачи плезиохронной цифровой иерархии (PDH — Plesiochronous Digital Hierarchy) стало понятно, что без синхронной передачи цифровых потоков E1 (2048 Кбит/с) и синхронной коммутации основных цифровых каналов 64 Кбит/с невозможно обеспечить качество услуг, соответствующее требованиям сети связи. Более того, наличие самой связи становится проблематичным. В процессе развертывания на сети цифровых центров коммутации возникает проблема их синхронного взаимодействия. Уплотненные каналы в ведущем узле (обычно это международный центр коммутации — МЦК) должны быть введены в многоканальную систему передачи и выведены из нее на одной и той же тактовой частоте. Поэтому устройство синхронизации, встроенное в оборудование коммутации ведомого узла (автоматической междугородной телефонной станции — АМТС), должно работать синхронно с оборудованием ведущего узла. Как видно из рисунка справа, по мере внедрения цифровых АТС во все узлы существующей телефонной сети устройства синхронизации всех типов станционного оборудования, оборудования систем передачи PDH и т. п. должны быть синхронизированы одним опорным сигналом. Возникает проблема доставки этого опорного сигнала к центрам коммутации, которые размещены на большом расстоянии друг от друга. Чтобы решить эту проблему, пришлось создавать специальные сети поддержки — сети синхронизации.

Для этого, как показано на данном рисунке, международный центр коммутации подключали к первичному устройству синхронизации (PRC — Primary Reference Clock), во вторичном центре коммутации, например, в автоматических меж-

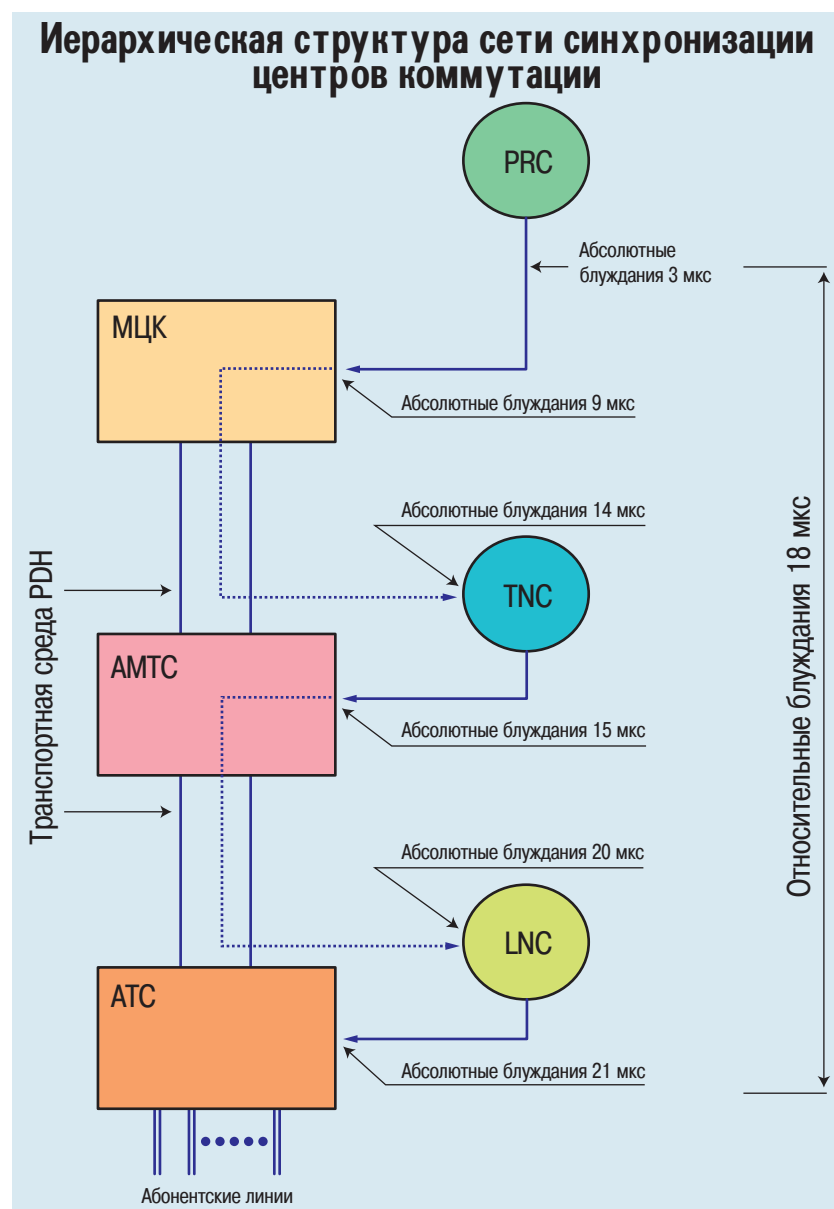
дугородных телефонных станциях (АМТС) и ниже по иерархии устанавливали ведомое устройство синхронизации транзитного узла (TNC — Transit Node Clock), а в конечных АТС размещали ведомое устройство синхронизации местного узла (LNC — Local Node Clock). Поскольку транспортная среда PDH не требует синхронизации по определению и обеспечивает прозрачную передачу синхронных потоков, то решение проблемы заключается в том, чтобы передавать сигналы синхронизации в составе цифровых потоков 2048 Кбит/с и таким образом обеспечить синхронную работу цифровых центров коммутации.

Все эти соображения были положены в основу Рекомендаций

G.810 — G.812 Синей книги ССИТТ в 1988 году. Однако к концу 90-х годов принципы построения сетей синхронизации были пересмотрены коренным образом. Причиной этого послужило широкое внедрение систем передачи синхронной цифровой иерархии — SDH.

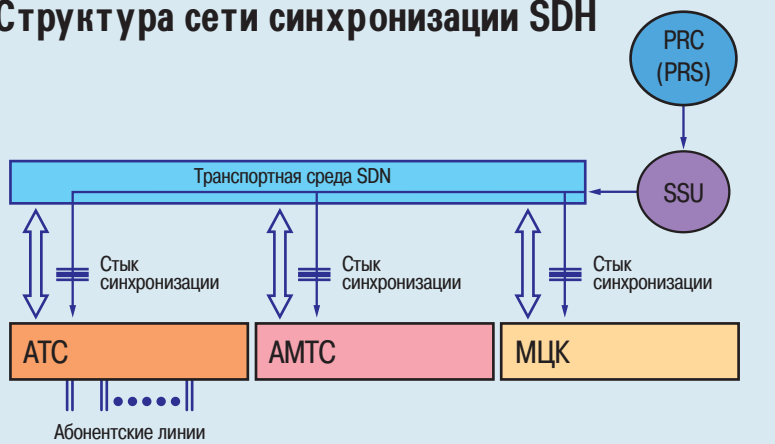
Первая волна публикаций

Уже в первой статье, посвященной проблемам синхронизации сетей связи (Н. Бирюков, Е. Кильчицкий, Ю. Шмалый, А. Савчук «Проблемы синхронизации национальной сети связи Украины», 1998) наряду с изучением международных нормативных документов и зарубежного опыта исследовались возможности использования отечественных техно-



Протяженные каналы синхронизации приводили к накоплению фазовых шумов

Структура сети синхронизации SDN



Современные сети синхронизации имеют значительно более плоскую структуру

логий в технике синхронизации. Кроме того, была показана ключевая роль украинской администрации связи и национальных операторов в становлении сетей синхронизации. Затем было отмечено, что планирование и эксплуатация современных сетей синхронизации требуют от специалистов фундаментальных знаний, которые не рассматриваются в стандартных курсах подготовки инженеров связи (Ю. Шмалий,

Н. Бирюков, А. Савчук «Синхронизация национальной сети связи Украины», 1998).

Например, инженерами связи и специалистами по метрологии не сразу воспринимается тот факт, что проблема синхронизации не в создании высокостабильных источников, а в том, чтобы передать сигналы на большие расстояния без ухудшения стабильности частоты. Это ключ для понимания проблем построения сетей синхронизации: современная техника генерирования сигналов способна предоставить устройства синхронизации, стабильность которых на

один-два порядка превосходит нормированные пределы для PRC. Но этого недостаточно. Анализ первой сети синхронизации, которая была развернута компанией AT&T в начале 80-х годов, показал, что при долговременной стабильности PRC, равной нескольким часам на 10^{-12} , в удаленных узлах стабильность его сигнала синхронизации ухудшалась на два порядка — до нескольких частей на 10^{-10} . Это означает, что выдерживать нормы Рекомендации G.811 с одним PRC на всей сети, структура которой показана на рисунке на с. 47, невозможно (Н. Бирюков, Е. Кильчицкий, А. Савчук «Синхронизация сети связи», 1998). Причина в том, что при передаче по реальным каналам сигнала синхронизации в нем накапливаются медленные фазовые блуждания (с периодом до 24 часов). Первая попытка нормировать такие блуждания (wander) была предпринята в старой Рекомендации G.823 (06/93) в виде линейной модели, о которой можно судить по рисунку на с. 47, где показано накопление блужданий в сигнале синхронизации в процессе распространения его по сети от PRC до конечной АТС. Предпола-

Ретроспектива публикаций

Н.Л. Бирюков, Е.В. Кильчицкий, Ю.С. Шмалий, А.В. Савчук. *Проблемы синхронизации национальной сети связи Украины*. — Збірник наукових праць УНДІЗ. Вип. 1, 1998, с. 33—36.
 Ю.С. Шмалий, Н.Л. Бирюков, А.В. Савчук. *Синхронизация национальной сети связи Украины*. — «Зв'язок» № 3, 1998, с. 47—50.
 Н.Л. Бирюков, Е.В. Кильчицкий, А.В. Савчук. *Синхронизация сети связи*. — «ДК-Зв'язок» № 29 (64), 1998.
 Ю.С. Шмалий, А.В. Савчук. *Устройство синхронизации*. — «ДК-Зв'язок» № 34 (69), 1998.
 Б. Кашеев, Ю. Коваль, С. Кундюков, А. Савчук, И. Черняк. *Распространение сигналов синхронизации*. — «ДК-Зв'язок» № 36 (71), 1998, № 38 (73), 1998.
 Н. Бирюков, Е. Кильчицкий, Ю. Шмалий, А. Савчук. *Сценарий синхронизации национальной сети связи Украины*. — «ДК-Зв'язок» № 40 (75), 1998.
 Б.Л. Кашеев, Ю.А. Коваль, С.Г. Кундюков. *О возможностях ис-*

пользования радиометеорологического канала для синхронизации национальной сети связи Украины. — «Зв'язок» № 5, 1999, с. 32—36.
 Y.S. Shmaliy. *The Modulation Method of Quartz Crystal Oscillator Frequency Stabilization*. — IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 45, No. 6, November, 1998, pp. 1476—1484.
 Н.Л. Бірюков, В.І. Вакась, Н.В. Лук'яненко, О.В. Савчук. *Проблеми синхронізації мереж зв'язку в Україні*. — «Зв'язок» № 4, 2001, с. 10—14.
 В.І. Вакась, О.В. Савчук. *Синхронізація мереж загального користування України*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2000, с. 57—62.
 І.І. Гниденко, Н.Г. Шереметьєва, О.Ю. Дембровський. *Звірення опорних частот генераторного обладнання аналогових систем передачі від пристроїв син-*

хронізації цифрової мережі загального користування. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2000, с. 70-73.
 В.І. Вакась. *Современные тенденции в синхронизации транспортных сетей*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2002, с. 60—66.
 І.І. Гниденко, І.Ю. Каленик. *Забезпечення надійності мереж синхронізації*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2002, с. 77—83.
 О.П. Гаврилюк. *Варианты схем синхронизации синхронізації для применения в оборудовании SDN*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2002, с. 83—86.
 В.І. Вакась. *Планирование сетей синхронизации*. Сборник научных трудов по материалам 1-го Международного форума «Прикладная ра-

галось, що в плезіохронній транспортній середі допустимі відхилення не повинні перевищувати 18 мкс. Примічально, що в цій Рекомендації така модель визнавалася занадто оптимістичною, а тому підлягала подальшому дослідженню. Однак дослідження це так і не сталося, оскільки в наступній редакції Рекомендації G.823 (05/99) нормування фазових відхилень ґрунтується на принципах поширення сигналів синхронізації в абсолютно іншій транспортній середі — SDH.

Відповідно до сучасних міжнародних нормативних документів існує два рішення проблеми передачі сигналів на великі відстані без погіршення стабільності частоти:

✓ по оптичних лініях систем SDH (мережа синхронізації як «внутрішня» мережа підтримки цифрової мережі зв'язу);

✓ в навігаційних повідомленнях супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) (зовнішня або «виділена» мережа синхронізації).

В українській періодиці крім цих можливостей для побудови незалежної від СРНС виділеної мережі синхронізації розглядалася система метеорологічної радіосв'язі (Б. Кашев, Ю. Коваль, С. Кундюков, А. Савчук, І. Черняк «*Распространение сигналов синхронизации*», 1998; Б. Кашев, Ю. Коваль, С. Кундюков «*О возможностях использования радиометеорологического ка-*

цезового генератора (Ю. Шмалій, А. Савчук «*Устройства синхронизации*», 1998; Y. Shmaliy «*The Modulation Method of Quartz Crystal Oscillator Frequency Stabilization*», 1998). Однак по багатьох причинах ці два ноу-хау поки залишилися невостребованими.

Третій зразок вітчизняних високотехнологічних — датчик сигналів СРНС, який розроблений і

Проблема синхронізації заключається в передачі сигнала на великі відстані без погіршення стабільності частоти

нала для синхронізації національної мережі зв'язу України», 1999), яка досліджена і розроблена в Харківському технічному університеті радіоелектроніки і забезпечує найбільш точне збігання шкали часу на великих відстанях. Великий інтерес для техніки синхронізації мереж представляє і інше досягнення вітчизняної науки, одержавше міжнародне визнання, — модуляційний метод стабілізації частоти квар-

серійно випускається українським підприємством «Оризон-Навігація», широко застосовується в пристроях синхронізації російського виробництва (Н. Бірюков, В. Вакаш, Н. Лук'яненко О. Савчук «*Проблеми синхронізації мереж зв'язу в Україні*», 2001). Це виріб належить до найбільш дешевих двосистемних приймачів навігаційних сигналів, який дозволяє одночасно обробляти сигнали двох СРНС — американ-

ТЕЛЕКОМ-ІНФО

діоелектроніка: стан і перспективи розвитку». — МРФ-2002, частина 1, 8—10 жовтня 2002. Харків, Україна, с. 498—500.

А.В. Рыжков, В.П. Кириллов, М.К. Кадерлеев, Е.И. Куликов. *Генераторное и метрологическое обслуживание системы тактовой сетевой синхронизации магистральной цифровой сети связи МПС России*. — Ювілейна науково-практична конференція «Сучасні і майбутні інформаційні технології України». Київ, 15—17 січня 2000, с. 50—53.

Н.Н. Леготин. *Измерение параметров тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети*. — Ювілейна науково-практична конференція «Сучасні і майбутні інформаційні технології України». Київ, 15—17 січня 2000, с. 59—61.

П.Н. Давыдкин, М.Н. Колтунов. *Особенности построения и контроля состояния тактовой сетевой синхронизации (ТСС) магистральной цифровой сети связи*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-

технічних знань» № 1, 2001, с. 81—83.

Г.В. Коновалов, А.В. Рыжков. *Взаимное резервирование первичных эталонных генераторов подсетей сети синхронизации*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2001, с. 85—87.

А.В. Рыжков, В.П. Кириллов, М.К. Кадерлеев. *Основы системы ТСС магистральной цифровой сети*. — «Вестник связи» № 10, 2000, с. 37—42.

В.А. Алексеев, М.Н. Колтунов, Я.Н. Назаров, Б.И. Шлюгер. *Принципы построения сети ТСС ОАО «Ростелеком»*. — «Электросвязь» № 8, 2000, с. 24—25.

В.А. Алексеев, Г.В. Коновалов. *Проблемы построения сетей синхронизации национальных сетей систем инфокоммуникаций стран СНГ*. — «Электросвязь» № 7, 2002, с. 19—22.

П.Н. Давыдкин, М.Н. Колтунов, А.В. Рыжков. *Распределение сигналов времени и стандартных частот по ВОЛП с использованием системы*

ТСС. — «Электросвязь» № 7, 2002, с. 22—24.

О.В. Савчук. *Становлення мережі синхронізації Укртелекому на тлі динаміки розвитку міжнародної нормативної бази*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 8, 1999, с. 16—22.

О.В. Савчук, І.П. Черняк. *Становлення нормативної бази з синхронізації мереж: перші кроки*. — «Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань» № 1, 2002, с. 57—60.

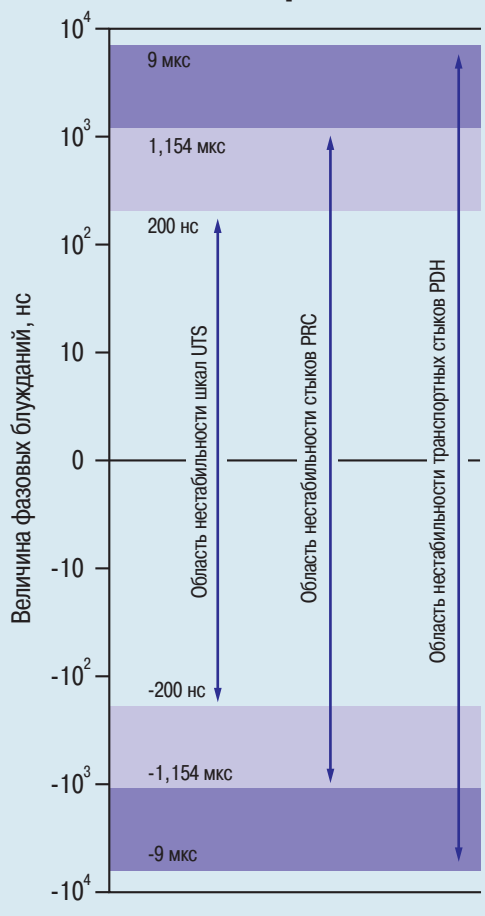
Концепція побудови та структури на схемі мережі синхронізації України. УНДІЗ — ДКЗІУ. Київ, 03.12.01. Затверджено та введено в дію 2 вересня 2002 р.

M. Sexton, A. Reid. *Transmission Networking*. — Nordwood, MA — 1992.

T.S. Brown, M.J. Gilson and M.G. Mason. *Synchronisation in data networks*. — BT Technical Journal, Vol. 16, No 1, 1998, p. 148—158.

S. Bregni. *Synchronization of Digital Telecommunication Networks*. John Wiley & Sons, Ltd. 2000.

Сравнительная оценка фазовых блужданий на стыках синхронизации



Для PRC допустимы суточные блуждания не более 1 мкс, а для узлов сети PDH — 18 мкс

ской GPS и российской ГЛОНАСС, что существенно уменьшает зависимость сетей синхронизации от внешних условий.

Можно заключить, что первые статьи в отечественной периодике способствовали осознанию важности проблемы специалистами отрасли и в конечном счете сыграли свою роль в принятии Концепции построения сетей синхронизации (*Концепція побудови та структурна схема мережі синхронізації України*. УНДІЗ — ДКЗІУ. Київ, 03.12.01), которая была утверждена и введена в действие 2 сентября 2002 года.

Принципы построения сетей синхронизации

Об исследованиях сетей синхронизации украинских операторов, которые были проведены в 1999—2002 годах, можно судить по опубликованным докладам на ежегодной

международной конференции «Эволюция транспортных сетей телекоммуникаций — проблемы построения, развития и управления» и других конференциях (см. вставку на с. 48—49). Анализ динамики международной нормативной базы и краткий обзор состояния синхронизации сетей связи операторов Украины (В. Вакась, О. Савчук «Синхронізація мереж загального користування України», 2000; В. Вакась «Современные тенденции в синхронизации транспортных сетей», 2002) показали, что внедрение транспортных сетей SDH совпало во времени с введением в эксплуатацию СРНС ГЛОНАСС и GPS, сигналы точного времени которых стали доступными для широкого круга абонентов. Приемные устройства GPS/ГЛОНАСС оказались признанной альтернативой цезиевым стандартам частоты для техники PRC. Эти две новые технологии — SDH и СРНС — вызвали фундаментальные изменения в представлениях о сетях синхронизации, которые отразились в новых Рекомендациях ITU-T G.810 (08/86), G.811 (09/97), G.812 (06/98) и G.823 (05/99). Вместо нормирования «цепочек синхронизации» возникает картина равномерного разворачивания устройств синхронизации, которое обеспечивает стабильность уровня «отслеженный PRC» во всех узлах сети. Новое определение сети синхронизации практически совпадает с определением синхронных шкал времени, причем исходным понятием этого определения служит частота всемирного скоординированного времени (UTC — Coordinated Universal Time). Иллюстрацией этого определения служит рисунок на этой странице, где иде-

тельно друг друга в пределах 200 нс. Нормированные пределы блужданий PRC составляют около 1 мкс/сутки (точнее, 1,154 мкс/сутки) относительно частоты UTC, и проблема синхронизации сети сводится к тому, чтобы в устройствах буферной памяти существующего оборудования передачи и коммутации не возникали проскальзывания. Для этого достаточно, чтобы в каждом узле сети относительные фазовые блуждания любых двух тактовых сигналов не превышали 18 мкс. Это и есть упрощенная постановка задачи построения сети синхронизации, но простота эта обманчива. Решение реальных задач требует значительных интеллектуальных и материальных затрат. Некоторые представления о том, как решали эти задачи украинские и российские связисты, а также специалисты других стран, можно получить из опубликованных работ, представленных в списке литературы. В обобщенном виде результаты этих исследований воплощены в первых отечественных нормативных документах по сетям синхронизации (О. Савчук «Становлення мережі синхронізації Укртелекому на тлі динаміки розвитку міжнародної нормативної бази», 1999; О. Савчук, І. Черняк «Становлення нормативної бази з синхронізації мереж: перші кроки», 2002; *Концепція побудови та структурна схема мережі синхронізації України*).

Иллюстрацией основной идеи Концепции может служить рисунок на с. 48, из которого видно, что вместо многоступенчатой иерархии, изображенной на рисунке на с. 47, современные сети синхронизации имеют уплощенную

Сети синхронизации решают проблему доставки опорного сигнала к отдаленным центрам коммутации

альная шкала UTC представлена в виде горизонтальной оси с нулевыми блужданиями. Реальные международная и национальные шкалы времени имеют конечную стабильность и медленно (с периодом несколько месяцев) блуждают относи-

структуру, в которой не происходит чрезмерного накопления блужданий фазы, свойственного синхронизации ТфОП (телефонной сети общего пользования) с тремя и более уровнями иерархии. В этих условиях телефонные сети

фиксированной или мобильной связи или же сети ATM просто подключают к стыкам синхронизации транспортной сети SDH.

Вторая волна публикаций

Вторая волна публикаций приходится на 2002 год и отличается, во-первых, значительно большим разнообразием мнений, а во-вторых, тем, что проблемы синхронизации сетей интересуют уже не только инженеров и исследователей, но и коммерческие организации. Другими словами, эти научно-технические проблемы становятся экономическим фактором.

В работе П. Давыдкина, М. Колтунова, А. Рыжкова «*Распределение сигналов времени и стандартных частот по ВОЛП с использованием системы ТСС*» (2002 год) обсуждается новое применение волоконно-оптических линий связи, связанное с синхронизацией текущего времени, а не для поддержания постоянства тактовой частоты. Такое прикладное обобщение сетей синхронизации придает им новое качество — делает их доступным на всей территории страны источником информации о частоте и времени, которая до сих пор была сосредоточена в месте размещения государственного первичного эталона времени и частоты. В этой и других статьях (А. Рыжков, В. Кириллов, М. Кадерлеев, Е. Куликов «*Генераторное и метрологическое оборудование системы тактовой сетевой синхронизации магистральной цифровой сети связи МПС России*», 2000; А. Рыжков, В. Кириллов, М. Кадерлеев «*Основы системы ТСС магистральной цифровой сети*», 2000) содержится информация об одной из лучших сетей синхронизации, которая принадлежит российской компании «Транстелеком».

Национальные операторы развитых стран в конце прошлого века отказались от иерархической структуры, ориентированной на ТФОП, потому что она препятствует развитию современных технологий электро-связи, а также по той причине, что эра плезихронной транспортной среды ушла безвозвратно, причем для Украины ее не было и вовсе. Поэтому наше государство не сможет повторить опыт развитых стран, даже если бы и хотело — придется «синхронизироваться» в общем технологическом прогрессе и сразу строить сеть синхронизации в транспортной среде SDH в соответствии со схемой, представленной на с. 48, которая утверждена в Концепции.

Интенсивность публикаций, посвященных сетям синхронизации, в российской и украинской технической периодике в 1998—2002 годах была, пожалуй, выше, чем в западных технических журналах. Правда, в США издана энциклопедия по этой тематике (S. Vregni «*Synchronization of Digital Telecommunication Networks*», 2000), перевод которой готовится к выпуску в российском издательстве «Мир». Такой большой интерес вызван очень быстрым переоснащением отрасли электросвязи в наших странах, при котором фактически «выпал» этап транспортной сети PDH, а вместе с ним и начальный этап становления понятий о сетях синхронизации. ●

Владимир Шапошников,
начальник отдела ООО «Вирком»

Ваш web-сайт вдохнет свободно!

АКЦИЯ!

До 1 октября 2003 г.

Выделенные Интернет-каналы для Вашего офиса и Вашего web-ресурса

Подключение по выделенным каналам
с гарантированной пропускной способ-
ностью плюс **БЕСПЛАТНО** услуга
web-хостинга и co-location

	Подключение	Абонплата
Выделенный канал 256 Кбит/с	295	120 (3 ГБ включено)
Виртуальный web-сервер	0	0 (20 МБ включено)
Выделенный канал 512 Кбит/с	295	480 (6 ГБ включено)
Размещение web-сервера на отдельном канале (co-location)	0	0 (6,7 ГБ включено)

* Цены указаны в условных единицах без учета НДС

А также ежегодная акция
**КЛАССНО ЛЕТОМ
С ИНТЕРНЕТОМ**

Подробнее об участии в акции
www.visti.net/summer/



ElVisti
НАДЕЖНЫЙ ПРОВАЙДЕР

www.visti.net
e-mail: sales@visti.net
тел. 239-90-91, 247-39-40